



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

(12) Übersetzung der
europäischen Patentschrift

(87) EP 0534 007 B1

(10) DE 691 18 693 T 2

(51) Int. Cl. 6:
H 03 F 1/32
H 03 F 3/45

DE 691 18 693 T 2

(21) Deutsches Aktenzeichen: 691 18 693.6
(86) Europäisches Aktenzeichen: 91 202 503.8
(86) Europäischer Anmeldetag: 25. 9. 91
(87) Erstveröffentlichung durch das EPA: 31. 3. 93
(87) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 10. 4. 96
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 28. 11. 96

(73) Patentinhaber:
Bell Telephone Mfg. Co. N.V., Antwerpen, BE
(74) Vertreter:
Pohl, H., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 70435 Stuttgart
(84) Benannte Vertragstaaten:
AT, BE, CH, DE, ES, FR, GB, IT, LI, NL, SE

(72) Erfinder:
Sevenhans, Joannes Mathilda Josephus, B-2930
Brasschaat, BE; van Paemel, Mark Gerrit Stev'n
Jozef, B-2980 Zoersel, BE

(54) Differenzverstärkeranordnung

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 691 18 693 T 2

zugsspannungsanschluß verbunden, an den eine konstante Gleichspannungsquelle angeschlossen werden muß.

Ein Problem mit dieser bekannten Schaltungsanordnung besteht darin, daß die Steuerschaltung eine offene Steuerung repräsentiert, was zum Erreichen der geforderten Linearität, harte Anforderungen an die Übereinstimmung aller MOS-Transistoren der Schaltungsanordnung stellt. Genauer gesagt, müssen die MOS-Transistoren der einzelnen Verstärkerzweige, die des Hilfs-Differenzpaars, die PMOS-Transistoren der Stromspiegelschaltung und der NMOS-Transistor der Stromspiegelschaltung mit dem Dritten NMOS-Transistor vollständig übereinstimmen. Dies führt zu Prozeßbeschränkungen, die schwierig einzuhalten sind.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Differenzverstärkerschaltung des oben erwähnten bekannten Typs bereitzustellen, wobei jedoch die Linearisierung der Kennlinie durch Übereinstimmung einer minimalen Anzahl von aktiven Bauelementen der Schaltungsanordnung erreicht wird.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe aufgrund der Tatsache erreicht, daß die Steuerschaltung eine negative Rückkopplungsschaltung mit einem Komparator enthält, dessen Eingänge mit einem Referenzanschluß, an welchen eine Referenzspannung angelegt wird, und mit dem Verbindungspunkt verbunden sind und wobei dessen Ausgang die Stromquelle steuert.

Auf diese Weise müssen nur die aktiven Bauelemente der einzelnen Verstärkerzweige übereinstimmen, um die gewünschte Linearität zu erhalten, wobei die negative Rückkopplung mögliche Nichtübereinstimmungen zwischen anderen Bauelementen der Schaltungsanordnung kompensiert.

Desweiteren verändert die negative Rückkopplungsschaltung den Strom der Stromquelle, wenn die Spannung am Verbindungspunkt von der Referenzspannung abweicht, so daß die Spannung am Verbin-

Dies ist jedoch in der Praxis nicht immer der Fall, und die Linearisierung kann nur dann erreicht werden, wenn die Steilheit (gm) von der Gleichtakt-Eingangsspannung über den Eingangsanschlüssen unabhängig gemacht wird.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Differenzverstärkerschaltung des oben erwähnten bekannten Typs bereitzustellen, welche aber die Eingangs-/Ausgangs-Kennlinie selbst dann noch linearisiert, wenn unsymmetrische Differenz-Eingangssignale an die Eingangsanschlüsse angelegt werden.

Gemäß der Erfindung wird diese weitere Aufgabe aufgrund der Tatsache gelöst, daß der Referenzanschluß so mit den Eingangsanschlüssen verbunden ist, daß die Referenzspannung der Gleichtaktspannung an den Eingangsanschlüssen folgt.

Auf diese Weise wird die Gleichtaktspannung an den Eingangsanschlüssen durch die Spannung am Verbindungspunkt kompensiert, wobei diese Spannung durch die Steuerschaltung geliefert wird.

Genauer gesagt, die Steuerschaltung enthält desweiteren ein erstes und ein zweites Kopplungsmittel sowie einen Spannungsteiler, und der Referenzanschluß stellt einen Abgriff des Spannungsteilers dar, dessen Eingangsanschlüsse über das erste und zweite Kopplungsmittel mit dem ersten beziehungsweise zweiten Eingangsanschluß verbunden sind.

Durch diese Schaltung bleibt die Steilheit unabhängig von der Gleichtaktspannung.

Noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine einstellbare Verstärkung oder Steilheit (gm) der Differenzverstärkerschaltung zu erhalten. Durch Modifizieren der Steilheit wird der Anstieg der oben erwähnten Kennlinie ebenfalls modifiziert.

doch dazu, daß ein Gleichtaktstrom in den einzelnen Verstärkerzweigen erzeugt wird, und dieser Gleichtakt-Ausgangsstrom kann für die nachfolgenden Schaltungen Probleme hervorrufen.

Noch eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, den Gleichtakt-Ausgangsstrom in den einzelnen Verstärkerzweigen zu unterdrücken.

Diese andere Aufgabe wird ebenfalls gemäß der Erfindung aufgrund der Tatsache gelöst, daß die Differenzverstärkerschaltung desweiteren eine Stromspiegelschaltung enthält, die durch die Steuerschaltung gesteuert wird und deren Ausgänge an die einzelnen Verstärkerzweige angeschlossen sind, um den darin fließenden Gleichtakt-Ausgangsstrom zu unterdrücken.

Genauer gesagt, diese Stromspiegelschaltung enthält eine vierte Stromquelle, die mit einem Stromspiegel in Reihe geschaltet ist, und eine fünfte und eine sechste Stromquelle, die zu den verschiedenen einzelnen Verstärkerzweigen in Reihe geschaltet sind und durch den Stromspiegel gesteuert werden.

Die Steuerschaltung beseitigt zusammen mit der Stromspiegel-Schaltungsanordnung auf folgende Weise den Gleichtakt-Ausgangsstrom. Wenn ein Gleichtakt-Eingangssignal an den Differenzverstärker angelegt wird, verändert die Steuerschaltung durch Steuerung des Stromes der ersten Stromquelle die Referenzspannung und dadurch die Spannung am Verbindungspunkt. Dies führt zur Erzeugung eines Gleichtakt-Ausgangsstromes in den einzelnen Verstärkerzweigen. Dieser Strom wird jedoch gemäß der Erfindung durch ein Duplikat desselben kompensiert, welches unter Steuerung der Steuerschaltung durch die Stromspiegel-Schaltungsanordnung erzeugt wird und ebenfalls durch die einzelnen Verstärkerzweige fließt, jedoch in entgegengesetzter Richtung.

Die oben erwähnten und andere Aufgaben und Merkmale der vorliegenden Erfindung werden deutlicher werden, und auch die Erfin-

Der Verbindungspunkt VX von M8 und M10 ist über einen Spannungssteiler, der durch die Reihenschaltung zweier identischer Widerstände R1 und R2 gebildet wird, an den Verbindungspunkt VY von M9 und M11 angeschlossen. Der Abgriffspunkt Vref dieses Spannungsteilers ist mit dem invertierenden Eingang (-) eines Differenzverstärkers A verbunden, an dessen nichtinvertierenden Eingang (+) der Verbindungspunkt VS angeschlossen ist und dessen Ausgang mit der Gate-Elektrode des NMOS-Transistors M3 verbunden ist. Die Eingangsanschlüsse VG1 beziehungsweise VG2 sind mit den Gate-Elektroden der NMOS-Transistoren M8 beziehungsweise M9 verbunden, während ein Steuereingangsanschluß VC mit den Gate-Elektroden der beiden NMOS-Transistoren M10 und M11 verbunden ist.

An den gleichnamigen Anschlüssen liegen die Spannungen VG1, VG2, VS, VX, VY sowie Vref an bzw. fließen die Ströme I1 und I2.

Ein erstes Ziel der oben beschriebenen Steuerschaltung besteht darin, die der Differenz-Eingangsspannung ($VG2 - VG1$) und dem Differenz-Ausgangsstrom ($I2 - I1$) zugeordnete Kennlinie des Differenzverstärkers OTA zu linearisieren. Diese Linearisierung gestattet es dem Differenzverstärker, große Signale, beispielsweise mit 2,5 Volt Spitze-Spitze-Spannungen, ohne Verzerrungen zu verarbeiten. Zu diesem Zweck wird, wie unten erklärt wird, die Gesamtteilheit gm des Differenzverstärkers konstant gehalten, indem die Bezugsspannung VS am gleichnamigen Verbindungs punkt gleich der Referenzspannung Vref gehalten wird. Dies wird erreicht, indem der Operationsverstärker A als Komparator für die zwei letztgenannten Spannungen wirkt und die Gate-Elektrode des Transistors M3 ansteuert, der als geregelte Stromquelle arbeitet und in der Lage ist, die Bezugsspannung VS zu verändern.

Genauer gesagt beruht die oben erwähnte Linearisierung auf dem sogenannten "Quadrat-Gesetz" eines Differenzverstärkers, was wie folgt geschrieben werden kann:

keine Gleichtakt-Eingangsspannung, und es wäre ausreichend, die Bezugsspannung VS konstant zu halten, um die oben genannte Linearität zu erhalten. Weil dann diese Bezugsspannung VS gleich V_{ref} ist, wäre es ausreichend, eine konstante Gleichspannung an den Referenzspannungsanschluß V_{ref} anzulegen. Außerdem müßte die Spannungsquelle, die diese Referenzspannung liefert, wegen der hohen Eingangsimpedanz des Operationsverstärkers A keine niedrige Impedanz haben.

Leider ist in Praxis sehr oft eine Gleichtakt-Eingangsspannung vorhanden, und diese muß kompensiert werden, damit ein konstanter Wert für die Steilheit gm sichergestellt werden kann. Dies wird durch eine Steuerung der Bezugsspannung VS erreicht, um der Gleichtakt-Eingangsspannung $(VG_1 + VG_2)/2$ nachzufolgen.

Genauer gesagt wird die Gleichtakt-Eingangsspannung von VG_1 , VG_2 über den Gate-Source-Pfad der Sourcefolger-Transistoren M8/M9, die dann als Kopplungsmittel dienen, zu den Anschlüssen V_X , V_Y übertragen. Diese Gleichtakt-Eingangsspannung erscheint dann an dem Spannungsanschluß V_{ref} und somit auch an dem Verbindungs-punkt VS, der zu dem Komparator A und der geregelten Stromquelle M3 gehört.

Aus oben Gesagtem folgt, daß die Linearisierung der der Differenz-Eingangsspannung und dem Differenz-Ausgangsstrom zugeordneten Kennlinie der Differenzverstärkerschaltung dadurch erreicht wird, daß die Gesamtsteilheit gm sowohl von der Differenzspannung $(VG_2 - VG_1)$ als auch von der Gleichtaktspannung $(VG_1 + VG_2)/2$ unabhängig gemacht wird.

Weil der vorliegende Gegenleitwert-Operationsverstärker OTA in Filtern verwendet wird, ist es ebenfalls wichtig, daß man in der Lage ist, die Gesamtsteilheit gm zu verändern, um das Filter auf einen vorgegebenen Frequenzgang abzustimmen. Dies ist ein zweites Ziel der oben beschriebenen Steuerschaltung.

Diese Schaltung umfaßt zwischen den Versorgungsspannungsanschlüssen VDD und VSS die Reihenschaltung eines als Diode geschalteten PMOS-Transistors M6 mit dem Drain-Source-Pfad des NMOS-Transistors M7, wobei der Ausgang des Operationsverstärkers A mit der Gate-Elektrode von M7 verbunden ist. Desweiteren werden die PMOS-Transistoren M4/M5 jeweils zwischen den Versorgungsspannungsanschluß VDD und die Drain-Elektroden der NMOS-Transistoren M1 bzw. M2 der jeweiligen Verstärkerzweiges geschaltet, wobei die Gate- und Source-Elektroden von M6 mit den Gate-Elektroden der beiden Transistoren M4 und M5 verbunden sind.

Der Zweck dieser letztgenannten Schaltung besteht darin, den Gleichtakt-Ausgangsstrom aus den Differenz-Ausgangströmen I1 und I2, die an den Drain-Elektroden von M1 beziehungsweise M2 abgegriffen werden, zu beseitigen. Dieser unerwünschte Gleichtakt-Ausgangsstrom wird durch den Steuereingriff der oben beschriebenen negativen Rückkopplungsschleife der Steuerschaltung erzeugt. Tatsächlich würde jede Änderung der Gleichtakt-Eingangsspannung, wie oben erklärt, zu einer Veränderung der Referenzspannung Vref führen und somit ebenfalls zu einer Veränderung der Bezugsspannung VS am gleichnamigen Verbindungs-punkt. Als Folge davon führt die Veränderung von VS zur Erzeugung eines Gleichtaktstromes in den beiden Verstärkerzweigen, und dieser Strom erscheint in den Ausgangströmen, was zu Fehlern in den nachfolgenden Schaltungen führt.

Die vorliegende Schaltung erzeugt ein Duplikat des Gleichtaktstromes, und dieses Duplikat wird in die zwei Verstärkerzweige eingespeist, um den unerwünschten Gleichtaktstrom zu kompensieren.

Zu diese Zweck wird die Stromquelle M7 durch das Ausgangssignal des Komparators A gesteuert, welches ebenfalls die Stromquelle M3 zwecks Änderung der Bezugsspannung VS steuert, und der durch M7 erzeugte Strom wird über M6 in die Stromquellen M4 und M5

A N S P R Ü C H E

1. Differenzverstärkerschaltung ein Differenzpaar (M1, M2) enthaltend, das zwei einzelne Verstärkerzweige mit ersten (VG1) und zweiten (VG2) Eingangsanschlüssen umfaßt, wobei die Verstärkerzweige einen ersten (M1) beziehungsweise einen zweiten (M2) Eingangstransistor enthalten, wobei die Verstärkerzweige mit einem gemeinsamen Zweig verbunden sind, der eine Stromquelle (M3) sowie einen Verbindungs- punkt (VS) umfaßt, welcher mit den Source-/Emitter-Elek- troden des ersten und zweiten Eingangstransistors verbunden ist, und wobei der Strom der Stromquelle durch eine Steuer- schaltung (A; R1, R2; M8, M9; M10, M11) geregelt wird, um so die Eingangs-/Ausgangs-Kennlinie des Differenzpaars zu linearisieren, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerschal- tung (A; R1, R2; M8, M9; M10, M11) eine negative Rückkopp- lungsschaltung mit einem Komparator (A) enthält, dessen Eingänge mit einem Referenzanschluß (Vref), an den eine Referenzspannung (Vref) angelegt wird, und mit dem Verbin- dungspunkt (VS) verbunden sind und dessen Ausgangssignal die Stromquelle (M3) steuert.
2. Differenzverstärkerschaltung gemäß Anspruch 1, dadurch ge- kennzeichnet, daß der Komparator (A) ein Operationsverstär- ker ist, der einen nichtinvertierenden (+) und einen in- vertierenden (-) Eingang besitzt, wobei der Verbindungs- punkt (VS) und der Referenzanschluß (Vref) an den invertie- renden beziehungsweise den nichtinvertierenden Eingang an- geschlossen sind.
3. Differenzverstärkerschaltung gemäß Anspruch 1, dadurch ge- kennzeichnet, daß der Referenzanschluß (Vref) derart an die Eingangsanschlüsse (VG1, VG2) angeschlossen ist, daß die Referenzspannung (Vref) der Gleichtaktspannung an den Ein- gangsanschlüssen folgt.

unterdrücken.

8. Differenzverstärkerschaltung gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromspiegelschaltung (M7, M6; M4, M5) eine vierte Stromquelle (M7), die zu einem Stromspiegel (M6) in Reihe geschaltet ist, sowie eine fünfte (M4) und eine sechste (M5) Stromquelle, welche zu den jeweiligen einzelnen Verstärkerzweigen in Reihe geschaltet sind und durch den Stromspiegel gesteuert werden, enthält.
9. Differenzverstärkerschaltung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Verstärkerzweige (M1, M2) und die Stromquellen (M3, M10, M11, M7, M4, M5) jeweils mindestens einen MOS-Transistor enthalten.
10. Differenzverstärkerschaltung gemäß Anspruch 4 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kopplungsmittel (M8, M9) jeweils mindestens einen MOS-Transistor enthalten.
11. Differenzverstärkerschaltung gemäß Anspruch 4 oder 6 dadurch gekennzeichnet, daß der Spannungsteiler einen ersten (R1) und einen zweiten (R2) Widerstand enthält, die im wesentlichen gleich und in Reihe geschaltet sind, wobei der Verbindungspunkt dieser Widerstände den Abgriffpunkt (Vref) bildet.
12. Differenzverstärkerschaltung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sie auf einem elektronischen Chip integriert ist.